

СХЕМА СИНХРОНИЗАЦИИ ИМПУЛЬСНОГО БЕТАТРОНА

М. М. ШТЕЙН

(Представлена научно-исследовательским институтом
ядерной физики, электроники и автоматики)

Питание бетатрона однополярными импульсами тока повышает его технико-экономические показатели [1]. Импульсный характер возбуждения электромагнита предъявляет ряд специфических требований к построению схемы синхронизации, основная задача которой состоит в задании момента инжекции. Применение схем синхронизации, разработанных для бетатронов с непрерывным питанием, зачастую оказывается неэффективным, а иногда и просто невозможным. Традиционные схемы синхронизации, как правило, построены с использованием пик-трансформаторного датчика нулевого значения поля, дающего опорный сигнал, а требуемая задержка получается подмагничиванием датчика или с помощью электронных схем [2].

При импульсном питании, когда электромагнит бетатрона подключается к заряженной конденсаторной батарее, в обмотке пик-трансформаторного датчика индуцируется сигнал и возникают колебательные процессы, нарушающие работу схемы синхронизации.

Кроме этого, одним из требований, предъявляемых к схеме синхронизации, является возможность автоматической коррекции момента инжекции в зависимости от дестабилизирующих факторов и, в частности, изменений напряжения питающей сети [3]. При импульсном питании бетатрона наряду со случайными изменениями питающего напряжения наблюдаются пульсации, связанные с тем, что частота импульсов, как правило, выше частоты сети. Таким образом, в схеме синхронизации импульсного бетатрона такая коррекция должна быть обязательно предусмотрена.

Синхронизация момента инжекции заключается в согласовании скорости инжектируемых электронов с величиной поля на равновесной орбите. В этом случае в ускорение захватывается максимальный заряд. При небольших напряжениях инжекции согласование определяется следующим выражением:

$$B_i = \frac{3,37 \sqrt{U_i}}{r_0}, \quad (1)$$

где

B_i — величина индукции на равновесной орбите r_0 ;
 U_i — напряжение инжекции.

Если известно значение э.д.с. на витках, охватывающих контур, то величина индукции внутри этого контура в любой точке может быть найдена с точностью до постоянного множителя k :

$$B(t) = k \int_0^t e(t) dt + B_{\text{ост}}; \quad (2)$$

$B_{\text{ост}}$ — остаточное или начальное значение индукции, определяемое наличием ферромагнитного сердечника.

В выражении (2) не учитываются нелинейные эффекты. Это не должно приводить к значительным погрешностям, так как в магнитной цепи бетатрона имеется большой воздушный зазор, и, с другой стороны, поле в момент инжекции невелико.

Можно положить, что э.д.с. $e(t)$ пропорциональна напряжению на конденсаторной батарее, и до момента инжекции оно не успевает существенно измениться, тогда момент инжекции приблизительно находится как

$$t_i = \frac{B_i - B_{\text{ост}}}{ke(0)}; \quad (3)$$

Рассмотрим сначала влияние остаточной индукции. Как следует из выражения (3), если остаточная индукция пропорциональна напряжению питания, то ее наличие приводит к уменьшению требуемой задержки на постоянную величину, что можно легко учесть. Однако в действительности

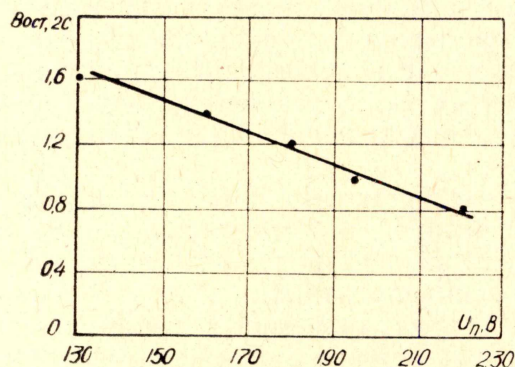


Рис. 1

величина остаточной индукции сложным образом зависит от напряжения питания и в области больших напряжений уменьшается с ростом напряжения.

На рис. 1 приведена зависимость остаточной индукции от напряжения, снятая для малогабаритного бетатрона на энергию 6 мэв при частоте импульсов 200 гц. В пределах допустимых колебаний напряжения питания 10%, величина остаточной индукции меняется в среднем на 0,2 гс.

Это не очень большое значение, так как поле в момент инжекции в исследованном бетатроне равно примерно 100 гс и требуемое изменение момента инжекции составит около 0,2%, тем не менее, как следует из [4], при повышенных требованиях к стабильности излучения бетатрона влияние остаточной индукции необходимо учитывать. В бетатронах на средние и большие энергии остаточная индукция будет сказываться более сильно из-за большего абсолютного значения и вследствие уменьшения поля в момент инжекции. Выражение (2) показывает, что схему синхронизации желательно построить так, чтобы она осуществляла ту же операцию интегрирования э.д.с. (напряжения питания), что и электромагнит бетатрона. В этом случае будет иметь место автоматическая коррекция момента инжекции по необходимому закону в соответствии с изменением питающего напряжения.

Автором разработана и экспериментально проверена схема, реализующая в упрощенном виде такой принцип (рис. 2). Основой ее является одноконтурный магнитный усилитель МУ, служащий элементом за-

держки [5]. Рабочая обмотка усилителя W_p , последовательно с которой включено сопротивление нагрузки R_n , питается напряжением $e(t)$, снимаемым с витков, намотанных на центральном сердечнике бетатрона.

Приближенный анализ работы схемы можно провести, используя кривую намагничивания сердечника МУ (рис. 3). Исходное состояние $I(B_n, H_n)$ определяется ампервитками управляющей $i_y W_y$ и компенсирующей $i_k W_k$ обмоток:

$$H_n = \frac{i_y W_y + i_k W_k}{l_{ст}}, \quad (4)$$

где

$l_{ст}$ — средняя длина силовой линии сердечника МУ.

При подаче напряжения $e(t)$ рабочая точка переходит на восходящую ветвь гистерезисной характеристики (точка 2) и через некоторое время сердечник входит в насыщение (точка 3).

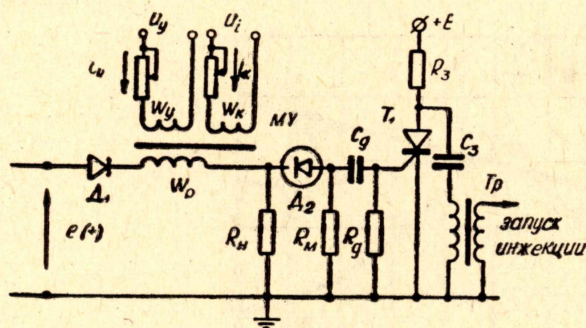


Рис. 2

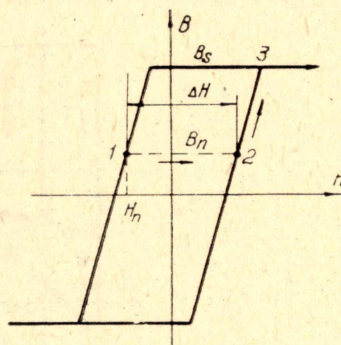


Рис. 3

В момент перехода сердечника в насыщение на сопротивлении образуется перепад напряжения, который через стабилитрон D_2 и дифференцирующую цепь $C_q R_q$ открывает тиристор T_1 , формирующий импульс запуска схемы инжекции. Когда напряжение $e(t)$ становится равным нулю или отрицательным, сердечник возвращается в исходное состояние. Длительность задержки регулируется изменением H_n (4).

Если не учитывать размагничивающее действие обмоток W_y и W_k а также возрастание тока в рабочей обмотке на участке 1—2, то момент инжекции может быть найден решением следующего уравнения:

$$B_s - B_n = \frac{1}{S_{ст} W_p} \int_0^{t_i} \left[e(t) - \frac{\Delta H l_{ст} R_n}{W_p} \right] dt, \quad (5)$$

где

$S_{ст}$ — сечение сердечника МУ.

Для того чтобы уравнение (5) соответствовало (2), необходимо выполнить условие

$$\frac{\Delta H l_{ст} R_n}{W_p} \ll e(t); \quad (6)$$

Последнее можно осуществить соответствующим выбором элементов схемы, параметров и материала сердечника. В качестве материала желательно использовать стали с малой коэрцитивной силой и резко выраженным участком насыщения, например, пермаллой 50НП, 65НП и т. д.

Применение МУ позволяет очень просто осуществить коррекцию момента инжекции в зависимости от различных дестабилизирующих факторов. В данной схеме такая коррекция осуществляется по напряжению инжекции U_i , которое снимается с зарядной емкости схемы инжекции. Требуемое изменение момента инжекции при небольших колебаниях напряжения инжекции может быть найдено из (1)

$$\frac{\Delta t_i}{t_i} = \frac{\Delta U_i}{2U_i}; \quad (7)$$

Следовательно, для наилучшей коррекции ампер-витки корректирующей обмотки $i_k W_k$ должны быть равными $i_y W_y$.

Аналогичным образом может быть осуществлена коррекция, учитывающая влияние остаточной индукции и т. д.

Результаты экспериментальной проверки разработанной схемы приведены на рис. 4. Кривая 1 показывает зависимость относительной мощ-

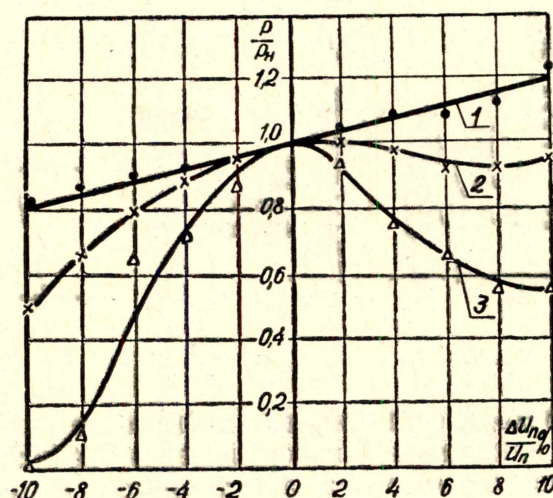


Рис. 4

ности дозы от напряжения питания при ручной настройке на максимум, т. е. она характеризует максимально возможную дозу при данном напряжении питания. Кривая 2 получена следующим образом. Для номинального напряжения питания бетатрон был настроен на максимум, и далее, не трогая ручек настройки, изменялось напряжение питания и фиксировалась мощность дозы. Корректирующая обмотка W_k в этом случае была подключена. Зависимость 3 снята при выключенной коррекции. Анализ полученных результатов показывает, что, несмотря на свою простоту, коррекция достаточно эффективна, особенно при больших отклонениях напряжения питания. Для получения максимально возможного выхода необходим более детальный учет всех факторов, влияющих на величину излучения.

ЛИТЕРАТУРА

1. А. А. Гейзер и др. Малогабаритный бетатрон с повышенными удельными характеристиками. Настоящий сборник.
2. Л. М. Ананьев и др. Индукционный ускоритель электронов — бетатрон. Госатомиздат, 1961.

3. Л. М. Ананьев, М. М. Штейн. Изв. ТПИ, т. 180, 53, 1971.
 4. Л. М. Ананьев, М. М. Штейн. Изв. ТПИ, т. 180, 3, 1971.
 5. М. А. Розенблат. Магнитные элементы автоматики. ГЭИ, 1969.
-